

PRG1 (1): プログラム・コンパイラ・実行

脇田建

2017.9.26

講義のサポートサイト

✦ **<https://github.com/is-prg1b/lecture>**

プログラムの実行方式

プログラムの実行方式

- ❖ 直接実行方式（気合いで頑張る）
- ❖ コンパイラを用いた直接実行方式 (C, C++ など)
- ❖ インタプリタを用いた解釈実行方式 (JavaScript, Ruby, Python など)
- ❖ 仮想命令コンパイラと仮想機械を用いた解釈実行方式 (Java, Scala など)

直接実行方式

プログラム	機械命令の列
実行の主体	ハードウェア（中央演算装置; CPU）が機械語で用意されたプログラムを直接実行
計算	命令の読み込み、解釈、実行、 プログラムカウンタの更新

簡単なプログラム例 (C)

```
int simple(int a, int n) {  
    for (int i = 1; i <= n; i++) {  
        a = a + i;  
    }  
    return a;  
}
```


機械命令

	変数
-4(%rbp)	a
-8(%rbp)	n
-12(%rbp)	i

ラベル	命令	命令の引数	簡単な解説
LBB0_1	movl	-12(%rbp), %eax	eax := rbp[-12]
	cmpl	-8(%rbp), %eax	rbp[-8] の値と eax の値を比較
	jg	LBB0_4	比較結果が > なら LBB0_4 から実行
BB#2	movl	-12(%rbp), %eax	eax := rbp[-12]
	addl	-4(%rbp), %eax	eax := eax + rbp[-4]
	movl	%eax, -4(%rbp)	rbp[-4] = %eax
BB#3	movl	-12(%rbp), %eax	eax := rbp[-12]
	addl	\$1, %eax	eax := eax + 1
	movl	%eax, -12(%rbp)	rbp[-12] := eax
	jmp	LBB0_1	次はLBB0_1 から実行
LBB0_4	

機械命令と変数の対応

	変数
-4(%rbp)	a
-8(%rbp)	n
-12(%rbp)	i

ラベル	命令	命令の引数	簡単な解説
LBB0_1	movl	-12(%rbp), %eax	$A := i$
	cmpl	-8(%rbp), %eax	n の値と A の値を比較
	jg	LBB0_4	$A > n$ なら LBB0_4 から実行
BB#2	movl	-4(%rbp), %eax	$A := a$
	addl	-12(%rbp), %eax	$A := A + i$
	movl	%eax, -4(%rbp)	$a = A$
つまり、 $a := a + i$			
BB#3	movl	-12(%rbp), %eax	$A := i$
	addl	\$1, %eax	$A := A + 1$
	movl	%eax, -12(%rbp)	$i := A$
つまり、 $i := i + 1$			
	jmp	LBB0_1	次はLBB0_1 から実行
LBB0_4	

機械命令でのループ

	変数
-4(%rbp)	a
-8(%rbp)	n
-12(%rbp)	i

ラベル	命令	命令の引数	簡単な解説
LBB0_1	movl	-12(%rbp), %eax	$A := i$
	cmpl	-8(%rbp), %eax	n の値と A の値を比較
	jg	LBB0_4	$A > n$ なら LBB0_4 から実行
BB#2	movl	-4(%rbp), %eax	$A := a$
	addl	-12(%rbp), %eax	$A := A + i$
	movl	%eax, -4(%rbp)	$a = A$
BB#3	movl	-12(%rbp), %eax	$A := i$
	addl	\$1, %eax	$A := A + 1$
	movl	%eax, -12(%rbp)	$i := A$
	jmp	LBB0_1	次はLBB0_1 から実行
LBB0_4	

つまり、 $a := a + i$

つまり、 $i := i + 1$

機械命令の直接実行

- ❖ CPUの性能の限界を引き出せる.
- ❖ コンパクトなコードを生成できる可能性がある.
- ❖ 猟奇的なプログラミングもやりやすい
- ❖ ↓ 機械命令は, 難しい. デバッグが大変.

コンパイラを用いた直接実行方式

- ❖ 動機：機械命令を人間が準備するのはあまりにつらい。助けて！
- ❖ ネイティブコードコンパイラ：人間にとって理解し易いプログラミング言語（高級言語）を機械命令に翻訳するソフトウェア
 - ❖ 記述性が飛躍的に高まり，ソフトウェアの生産性が大幅に高まった
 - ❖ 最適化コンパイラの性能は年々向上しており，生成されたコードは十分な実行性能を誇る。
- ❖ 各種のネイティブコードコンパイラ
 - ❖ C: clang や gcc / C++: clang++ や g++ / OCaml: ocamlc

コンパイラを用いた直接実行方式

\$ **cat simple.c**

```
#include <stdio.h>
```

```
int simple(int a, int n) {
```

```
    for (int i = 1; i <= n; i++) { a += i; }
```

```
    return a;
```

```
}
```

```
int main() { printf("1 + 2 + .. + 10 = %d\n", simple(0, 10)); }
```

プログラムを作成して

\$ **clang -o simple simple.c**

コンパイルして

\$ **./simple**

1 + 2 + .. + 10 = 55

実行

コンパイラを用いる利点

```
int simple(int a, int n) {  
    for (int i = 1; i <= n; i++) {  
        a = a + i;  
    }  
    return a;  
}
```

```
movl    %edi, -4(%rbp)  
movl    %esi, -8(%rbp)  
movl    $1, -12(%rbp)  
LBB0_1:  
    movl    -12(%rbp), %eax  
    cmpl    -8(%rbp), %eax  
    jg      LBB0_4  
## BB#2:  
    movl    -4(%rbp), %eax  
    addl    -12(%rbp), %eax  
    movl    %eax, -4(%rbp)  
...
```

- ❖ メモリ配置 ($-4(\%rbp)$) → 変数名 (a)
- ❖ ラベル (LBB0_4) → 制御構造 (**for** や **return**)
- ❖ 最適化コンパイラを利用するとかなりの実行性能が期待できる

インタプリタを用いた実行方式

- ❖ 動機：「プログラム作成，コンパイル，実行」の繰り返しは面倒．すぐに実行したい．
- ❖ インタプリタ：プログラムを読み取り，意味を解釈しながら，その場で実行するプログラム
 - ❖ プログラム断片を徐々に入力し，少しずつ実行できるので，わかりやすい．
- ❖ 各種のインタプリタ
 - ❖ matlab, ocaml, perl, python, R, ruby, scala, Scheme (gauche, rabbit)

インタプリタを用いた実行例

\$ **scala**

Welcome to Scala 2.12.3 (Java
HotSpot(TM) 64-Bit Server VM, Java
1.8.0_60).

Type in expressions for evaluation. Or
try :help.

```
scala> def simple(a: Int, n: Int): Int = {  
      |   def aux(a: Int, i: Int): Int = {  
      |     if (i > n) a else aux(a + i, i + 1)  
      |   }  
      |     aux(a, 1);  
      |   }
```

simple: (a: Int, n: Int)Int

```
scala> simple(0, 10)
```

res0: Int = 55

```
scala> simple(0, 30)
```

res1: Int = 465

参考：Scalaのインタプリタにファイルを読み込む方法

\$ **scala** Scalaのインタプリタの起動

Welcome to Scala version 2.11.8 (Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM, Java 1.8.0_25).

Type in expressions to have them evaluated.

Type :help for more information.

scala> **:load simple.scala**

Scalaファイル (simple.scala) の読み込み

Loading simple.scala...

defined object Simple

scala> **Simple.simple(0, 10)**

res0: Int = 55

simple.scala で定義されている

simple 関数の呼び出し

インタプリタの働き

- ❖ 入力されたプログラムの構文解析

- ❖ 構文エラーの指摘

```
scala> (+ a 1)
<console>:1: error: ')' expected but
integer literal found.
(+ a 1)
    ^
```

- ❖ プログラムの意味の解釈

- ❖ 意味に関するエラーの指摘

```
scala> b + 1
<console>:11: error: not found:
value b
    b + 1
    ^
```

- ❖ プログラムの意味にしたがって評価・実行

- ❖ 実行結果の出力

```
scala> simple(0, 10)
res7: Int = 55
```


仮想機械を用いた実行方式

- ✧ バイトコードコンパイラ

- ✧ バイトコード（仮想命令） \Leftrightarrow ネイティブコード（機械命令の別名）

- ✧ やや抽象度の高い命令（バイトコード）を準備する。

- ✧ 仮想機械：バイトコード列を解釈・実行する処理系

- ✧ バイトコードのインタプリタ（仮想CPUの真似をするソフトウェアと見做せる。
ネイティブコンパイラでの実行より10～20倍遅い）

- ✧ JIT (Just-in-time) コンパイラ：バイトコード断片の仮想命令を解釈・実行しながら、対応するネイティブコードを蓄えておく。次に同じ断片が実行するときには、保存したネイティブコードを実行することで、高速に実行する。

バイトコードコンパイラと仮想機械

言語	コンパイラ	仮想機械	基盤
Java	javac	Java Virtual Machine (JVM)	あらゆる環境
Scala	scalac	Java Virtual Machine (JVM)	あらゆる環境
C++ / C# / Basic / F# など	それぞれのコンパイラ	Microsoft 共通中間言語 (CIL)	.NET Framework
Java的な...	javac	Dalvik Virtual Machine ※最新のAndroidは使っていない	< Android 5.0

仮想機械を用いた実行例

\$ **cat simple.scala**

プログラムを作成

```
object Simple {  
  def simple(a: Int, n: Int): Int = {  
    def aux(a: Int, i: Int): Int = {  
      if (i > n) a else aux(a + i, i + 1)  
    }  
    aux(a, 1);  
  }  
  
  def main(arguments: Array[String]) {  
    println("1 + 2 + ... + 10 = " +  
      simple(0, 10))  
  }  
}
```

\$ **scalac simple.scala**

コンパイル: Simple.class, Simple\$.class

\$ **scala Simple**

1 + 2 + ... + 10 = 55

実行と結果の印字

仮想機械を用いる利点

- ❖ 可搬性 (portability): コンパイルしたプログラムを異なるアーキテクチャの機械で実行できる. OS (Android, iOS, Linux / OS X, UNIX, Windows, zOS) にもアーキテクチャ (ARM, AMD64, x86 / x64, POWER) にも依存しない実行方式.
- ❖ JITを利用すると, 思いの外, 高性能

どうしたことでしょう

Scalaのバイトコードは実は. . .

- ❖ `$ scalac simple.scala`

- ❖ `$ ls`

```
Makefile    Simple.class  simple.c    simple.scala
Simple$.class  simple      simple.s
```

- ❖ `$ file *.class`

```
Simple$.class: compiled Java class data, version 50.0 (Java 1.6)
Simple.class:  compiled Java class data, version 50.0 (Java 1.6)
```

- ❖ `java -classpath `brew --cellar`/../opt/scala/libexec/lib/scala-library.jar:. Simple`

```
1 + 2 + ... + 10 = 55
```


バイトコードコンパイラと仮想機械

言語	コンパイラ	仮想機械	基盤
Java	javac	Java Virtual Machine (JVM)	あらゆる環境
Scala	scalac	Java Virtual Machine (JVM)	あらゆる環境
VB .NET / C++ / C# / F# / J# / JScript / PowerShell など	それぞれのコンパイラ	Microsoft 共通中間言語 (CIL)	.NET Framework
Java的な...	javac	Dalvik Virtual Machine ※最新のAndroidは使っていない	< Android 5.0

多言語 → 共通仮想機械 (Microsoft)

プログラミング言語

Visual
Basic
.NET

C++

C#

F#

J#

JScript

PowerShell

コンパイル

中間言語

共通中間言語

(CIL; Common Intermediate
Language)

仮想実行基盤

.NET Framework

実行基盤

演算装置 (Microprocessor)

多言語 → 共通仮想機械 (JVM)

プログラミング言語

Java

Jython
(JVM版 Python)

JRuby
(JVM版 Ruby)

Scala

コンパイル

中間言語

Java Bytecode

仮想実行基盤

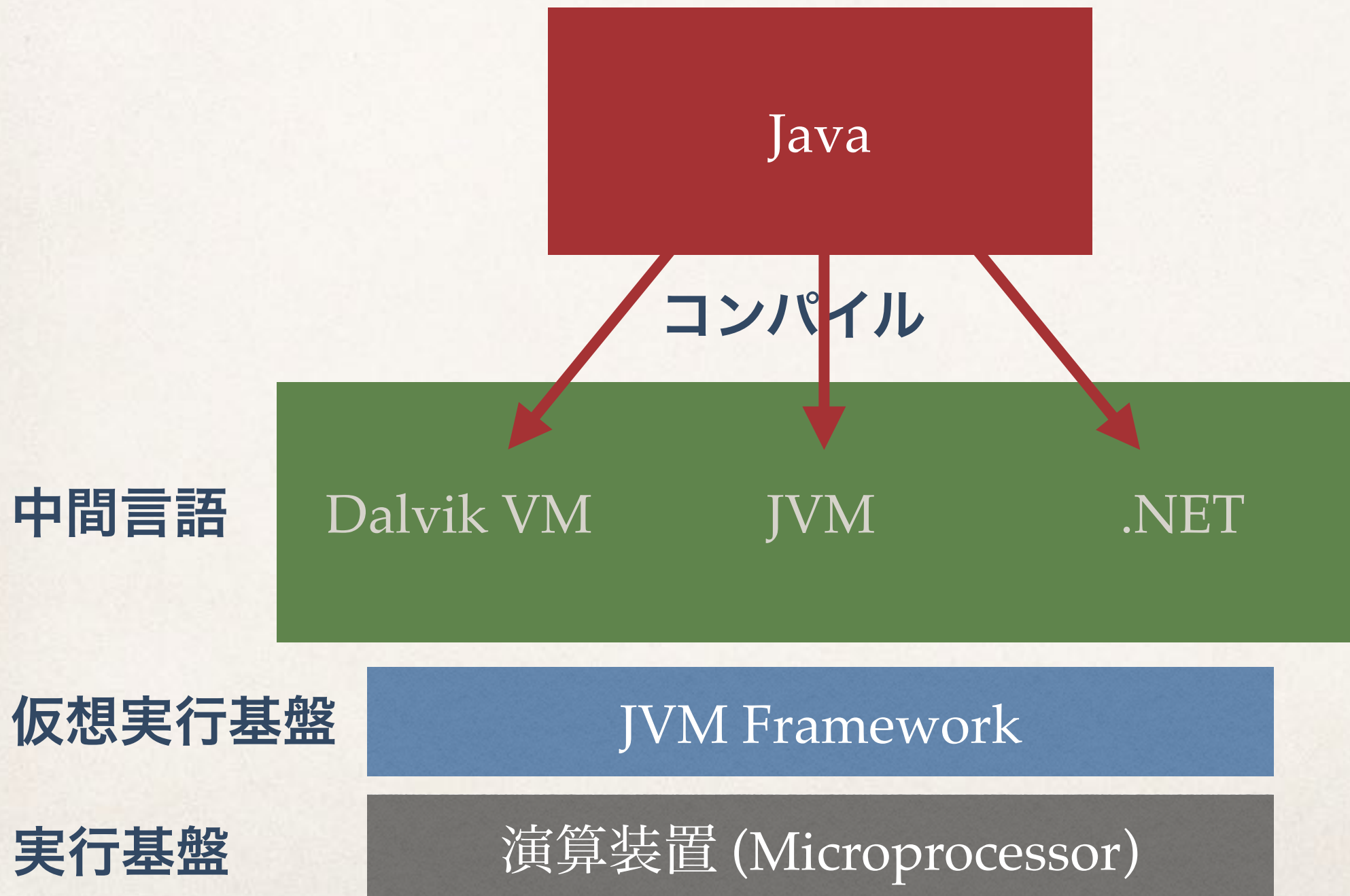
Java 仮想機械
(JVM; Java Virtual Machine)

実行基盤

演算装置 (Microprocessor)

同一言語 → 多様な実行環境

プログラミング言語



sbt – Scala の開発環境

プログラムの開発ステップ

1. プログラムを書く
2. コンパイル：文法エラーや意味エラーに出会ったらステップ1へ
3. 実行：実行時エラーに出会ったらステップ1へ
4. テスト：テストに失敗したら、頭を冷してからステップ1へ
5. 完成！

Scala開発の風景 – 各ステップでどんな作業をしているか考えて下さい

❁ scalac simple.scala

simple.scala:1: error: expected class or object definition

```
def simple(a: Int, n: Int): Int = {
```

^

simple.scala:8: error: expected class or object definition

```
def main(arguments: Array[String]) {
```

^

two errors found

❁ scalac simple.scala

simple.scala:4: warning: a pure expression does nothing in statement position; you may be omitting necessary parentheses

```
if (i > n) a else aux(a + i, i + 1)
```

^

simple.scala:6: error: type mismatch;
found : Unit

required: Int

```
aux(a, 1);
```

^

one warning found

one error found

❁ scalac simple.scala

❁ scala Simple

1 + 2 + ... + 10 = 14

❁ scalac simple.scala

❁ scala Simple

1 + 2 + ... + 10 = 55

Scala開発の風景 – 各ステップでどんな作業をしているか考えて下さい

- ❁ `scalac simple.scala`
- ❁ `scalac simple.scala`
- ❁ `scalac simple.scala`
- ❁ `scala Simple`
- ❁ `scalac simple.scala`
- ❁ `scala Simple`

プログラミング作業は、コンパイル、実行、テストの連続（たくさんタイピングしなくてはいけない）

しかも、scalac の実行は時間がかかる

bashの便利な機能

- ❖ コマンド実行履歴機能：↑キー、↓キー
 - ❖ 以前実行したコマンドの再実行
- ❖ コマンド行編集機能：Ctrl-a, Ctrl-b (← キー), Ctrl-f (→ キー), Ctrl-e
 - ❖ コマンド入力中の小さな間違いを素早く修正するのに便利
- ❖ コマンド再実行：!
 - ❖ !! – 直前に実行したコマンドの再実行
 - ❖ !sc – コマンド実行履歴のなかで "sc" で始まるコマンドを探し、それを実行

さらに便利な sbt (Scala build tool)

- ❖ Scala の開発環境（地味だけれど、とてもいい）
 - ❖ Scala プログラムのビルド（コンパイル & 統合）
 - ❖ 必要な Scala パッケージの自動インストール
 - ❖ 継続的コンパイル、継続的テスト
 - ❖ Scala インタプリタとの統合
 - ❖ Java のサポート
- ❖ 実はみなさんはすでに使っています。

sbtの利用

```
gmac01:lx01 wakita$ sbt
```

```
[info] Loading project definition from /home/wakita/classes/cs1/lx01/project
```

```
[info] Set current project to lecture (in build file:/home/wakita/classes/cs1/lx01/)
```

```
> compile
```

```
[info] Updating {file:/home/wakita/classes/cs1/lx01/}root...
```

```
[info] Resolving jline#jline;2.12.1 ...
```

```
[info] Done updating.
```

```
[info] Compiling 1 Scala source to /home/wakita/tmp/sbt/cs1g/lecture/scala-2.11/classes...
```

```
[success] Total time: 7 s, completed 2016/09/26 14:02:51
```

```
> run
```

```
[info] Running Simple
```

```
1 + 2 + ... + 10 = 55
```

```
[success] Total time: 0 s, completed 2016/09/26 14:02:54
```

```
> exit
```



sbt

sbt の起動

```
[info] Set current project to lx01 (in build  
file:/Users/wakita/tmp/lx00a/)
```

run コマンドでコンパイル & 実行

> **run**

```
[info] Compiling 1 Scala source to /Users/  
wakita/tmp/sbt/prg1b/lx01/scala-2.12/  
classes ...
```

```
[error] /Users/wakita/tmp/lx01/src/a.scala:  
2: expected class or object definition
```

```
[error] def simple(a: Int, n: Int): Int = {  
[error] ^
```

```
[error] /Users/wakita/tmp/lx01/src/a.scala:  
9: expected class or object definition
```

```
[error] def main(arguments: Array[String]) {  
[error] ^
```

```
[error] two errors found
```

```
[error] (compile:compileIncremental)
```

```
Compilation failed
```

```
[error] Total time: 2 s, completed 2015/10/06  
6:11:54
```

文法エラーだ！

プログラムを修正して、再実行

> **run**

```
[info] Running Simple
```

```
[info] 1 + 2 + ... + 10 = 14
```

計算間違い

```
[success] Total time: 0 s, completed  
2015/10/06 6:12:03
```

プログラムを修正して、再実行

> **run**

```
[info] Compiling 1 Scala source to /Users/  
wakita/tmp/cs1f/scala-2.11/classes...
```

```
[info] Running Simple
```

```
[info] 1 + 2 + ... + 10 = 55
```

```
[success] Total time: 3 s, completed  
2015/10/06 6:12:15
```


不精者のための sbt

- ❖ "run" を何度も入力するのが面倒じゃ
- ❖ コマンド履歴（↑と↓）を使って下さい
- ❖ ↑と↓を入力するのも面倒じゃ
- ❖ なんとなくワガママ
- ❖ そういうアンタに
"~run" コマンド

☛ sbt

sbt セッションを通して実行したのは最初の ~run コマンドだけ

[info] Set current project to cs1-lx00a (in build file: /Users/wakita/tmp/lx00a/)

> ~run

[info] Compiling 1 Scala source to /Users/wakita/tmp/cs1f/scala-2.11/classes...

[error] /Users/wakita/tmp/lx00a/src/lx00-a.scala:2: expected class or object definition

[error] def simple(a: Int, n: Int): Int = {

[error] ^

[error] /Users/wakita/tmp/lx00a/src/lx00-a.scala:9: expected class or object definition

[error] def main(arguments: Array[String]) {

[error] ^

[error] two errors found

[error] (compile:compileIncremental) Compilation failed

[error] Total time: 2 s, completed 2015/10/06 6:27:08

1. Waiting for source changes... (press enter to interrupt)

[info] Compiling 1 Scala source to /Users/wakita/tmp/cs1f/scala-2.11/classes...

[info] Running Simple

[info] 1 + 2 + ... + 10 = 14

[success] Total time: 3 s, completed 2015/10/06 6:27:19

2. Waiting for source changes... (press enter to interrupt)

[info] Compiling 1 Scala source to /Users/wakita/tmp/cs1f/scala-2.11/classes...

[info] Running Simple

[info] 1 + 2 + ... + 10 = 55

[success] Total time: 1 s, completed 2015/10/06 6:27:30

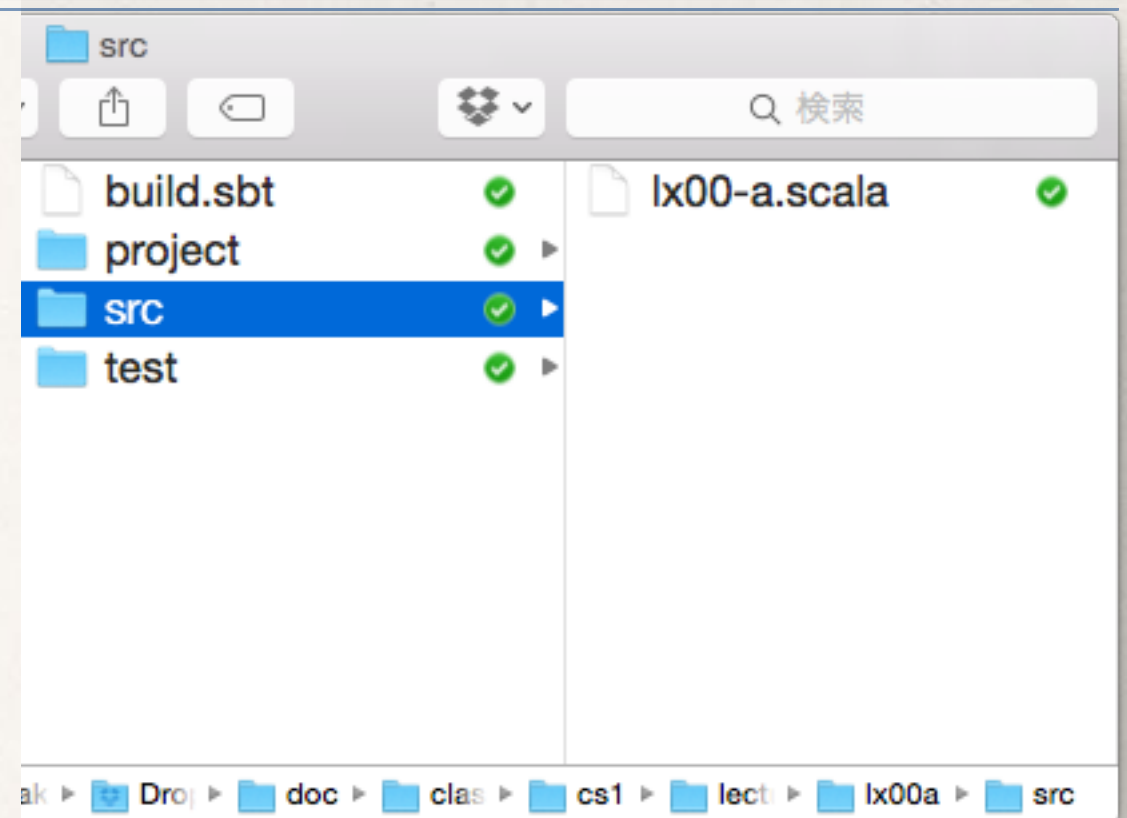
3. Waiting for source changes... (press enter to interrupt)

プログラムを修正すると
自動的にコンパイル&実行

継続的実行をやめるときは
enter

sbt の利用方法

- ❖ 作業用のフォルダを準備する
 - ❖ **build.sbt**
プロジェクトの設定
 - ❖ **src**
プログラムを保存するディレクトリ
 - ❖ **test**
テストを保存するディレクトリ
 - ❖ **project**
sbtが勝手に作る



次回：小テスト

- ❖ make と Makefile
- ❖ lx01 リポジトリの説明でよく勉強しておくこと
 - ❖ <http://bit.ly/prg1b-lx01>
 - ❖ <http://bit.ly/prg1b-makefile>

次回：単体テスト，テスト駆動開発

- ❖ 日本における閏年の根拠法：明治三十一年勅令第九十号
 - ❖ 明治三十一年勅令第九十号（閏年二関スル件・明治三十一年五月十一日勅令第九十号
 - ❖ 神武天皇即位紀元年数ノ四ヲ以テ整除シ得ヘキ年ヲ閏年トス
 - ❖ 但シ紀元年数ヨリ六百六十ヲ減シテ百ヲ以テ整除シ得ヘキモノノ中更ニ四ヲ以テ商ヲ整除シ得サル年ハ平年トス